

УДК 681.3

**Л.В. ДЕРБУНОВИЧ**, д-р техн. наук, проф. каф АУТС НТУ "ХПИ",  
**В.С. СУЗДАЛЬ**, д-р техн. наук,  
**Ю.М. ЕПИФАНОВ**, канд. техн. наук,  
**Ю.С. КОЗЬМИН**, научный сотрудник (ИСМА НАН Украины)

## **ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ**

В статті розглянуто методи функціонального діагностування систем управління процесами виробництва органічних сцинтиляторів. Запропоновано використання почасово-адресних інваріантів та структура діагностичного процесору для реалізації визначеного підходу.

The methods diagnosis in the course of operation of the control systems are analyzed. The watchdog processor structure for on-line detecting of control program fault is proposed.

**Введение.** В настоящее время сцинтиляционный метод детектирования ионизирующих излучений является наиболее распространен [1–4]. За последнее десятилетие в науке и технике значительно возросло применение различных органических сцинтилляторов (ОСЦ), в том числе – пластмассовых сцинтилляторов (ПС), что в значительной степени связано с изобретением и успешным производством спектросмещающих и транспортных оптических волокон. Соединение ПС со спектросмещающим волокном произвело революцию в технике конструирования детекторов на основе ПС. Стало возможным создание детекторов ячеистой структуры, в которой число ячеек может составлять несколько десятков тысяч, а общий вес детектора – десятки тонн. Благодаря своим уникальным свойствам, ОСЦ находят все более широкое применение при изготовлении разнообразных детекторов ионизирующих излучений. Значительный рост потребности в ОСЦ и детекторах ионизирующего излучения на их основе обусловил необходимость разработки технологии получения, организации промышленного производства этих сцинтилляторов, а также исследования их эксплуатационных характеристик [1, 4].

Большой вклад в постановку и разрешение проблем получения ОСЦ и создания систем управления (СУ) этими процессами внесли представители школ Б.В. Гринева, В.Г. Сенчишина, Н.З. Галунова. Их идеи и результаты исследований физико-технических особенностей процессов кристаллизации нашли широкое применение при создании автоматизированных установок для получения ОСЦ высокого качества.

Особенностями процессов получения ОСЦ являются: многомерность объекта управления (ОУ), высокий уровень производственных шумов, влияние субъективных факторов на качество и надежность функционирования АСУ. Анализ этих особенностей позволяет понять, почему длительное время

задачи развития автоматизации процессами получения ОСЦ и повышения воспроизводимости их результатов остаются актуальными. Однако и сегодня можно констатировать: в промышленном производстве крупногабаритных ОСЦ используют программно-логические и ПИД-алгоритмы управления, применение которых сопровождается большими потерями при кристаллизации.

Существенное повышение требований потребителей к характеристикам ОСЦ (высокий уровень сцинтилляционной эффективности и разрешения по энергии и времени, долговременная устойчивость и др.), возрастание объемов производства, его оснащение новыми дорогостоящими технологическими установками – все это предъявляет повышенные требования к разработчикам СУ. Процессы получения ОСЦ относятся к динамическим системам с начальной неопределенностью и высоким уровнем производственных шумов. Эффективным путем повышения качества этих процессов является решение теоретических и инженерно-технических задач автоматизированного управления, устойчивого к фактически имеющемуся уровню параметрической неопределенности и обеспечивающего высокую эффективность управления. Необходимо осуществить моделирование ОУ с учетом его физико-технических особенностей и разработать комплекс отказоустойчивых программно-технических средств автоматизации для решения задач управления в условиях промышленного производства.

**Классификация методов функционального диагностирования (ФД).** Известно, что отказоустойчивость СУ обеспечивается введением аппаратной, программной и временной избыточности [6].

Широкое распространение получили методы повышения надежности и отказоустойчивости СУ с применением мажоритарно резервированных устройств и принципов голосования при формировании управляющих воздействий. Однако высокая стоимость реализации этого подхода, с одной стороны, и необходимость совершенствования электронных технологий, повышения надежности СБИС и их быстродействия, с другой стороны, определяют целесообразность и эффективность использования методов ФД для обнаружения определенного класса дефектов в СУ и восстановления их работоспособности путем коррекции управляющих воздействий или повторной "прокрутки" управляющих программ [5, 6]. ФД - это процесс идентификации исправного состояния во время функционирования ОУ, на который поступают рабочие воздействия. Размыкание обратных связей в проверяемой СУ или подача тестовых воздействий, которые могут нарушить режим ее функционирования, считаются недопустимыми. К достоинствам ФД относятся его непрерывность и оперативность получения информации о правильности функционирования ОУ с возможностью восстановления работоспособности управляющей системы за минимальное время.

Классификация методов и принципов ФД представлена в ряде известных работ [12, 13, 14]. В рамках математического описания СУ, независимо от физической природы системы, все дефекты разделяют на две группы – искажение параметров и искажение сигналов. Диагностическая модель, учитывающая параметрические дефекты, имеет вид:

$$\dot{X} = f(X, U, V^*, t), y = g(X, U, V^*, t)$$

где  $V^*$  — вектор параметров неисправной системы,  $V^* = V + \Delta V$ ,  $V$  – номинальное значение векторов параметров,  $\Delta V$  – искажение, вызванное действием дефекта. При этом предполагается, что дефекты  $V^*$  константные, т.е.  $dV^*/dt = 0$ . Такая модель дефектов достаточно часто используется в технической диагностике.

Параметрическая модель дефектов удобна, но недостаточно универсальна. Многие дефекты динамических систем не удается описать константными искажениями параметров. Среди них можно назвать дрейфы нулей в датчиках, смещение рабочих органов в исполнительных механизмах (приводах), кратковременные пропадания сигналов, зашумление измерений, появление люфтов в механических устройствах и т.д. Описание дефектов такого типа производят в пространстве сигналов. Диагностическая модель, учитывающая сигнальные дефекты, ниже представлена на примере СУ процессом производства ОСЦ.

Исследования, связанные с формализацией задачи управления показывают, что установка получения ОСЦ, как ОУ, описывается или в пространстве состояний, или линейными дифференциальными уравнениями с возмущениями. Если в качестве показателя качества СУ выбран квадратичный функционал, то задача синтеза многомерного регулятора температуры для рассматриваемого ОУ становится задачей синтеза линейно-квадратичного регулятора (ЛКР) (*Linear quadratic regulator*), который может использоваться как для дискретных, так и для непрерывных систем. Частным случаем ЛКР является ЛКГ-регулятор, реализующий линейно-квадратичное управление с возмущениями в виде гауссова белого шума (рис. 1).

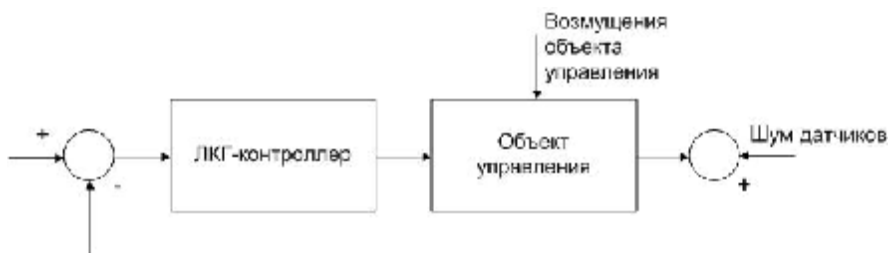


Рис. 1. ЛКГ-регулятор в контуре управления

В исправном состоянии объект описывается системой уравнений вида:

$$\mathbf{x}(t) = A\mathbf{x}(t) + B\mathbf{u}(t) ; \mathbf{y}(t) = C\mathbf{x}(t) + D\mathbf{u}(t) \quad (1)$$

где  $\mathbf{x}(\cdot)$  – вектор состояния, элементы которого называются состояниями системы  $\mathbf{y}(\cdot)$  – вектор выхода,  $\mathbf{u}(\cdot)$  – вектор управления,  $A$  – матрица системы,  $B$  – матрица управления,  $C$  – матрица выхода и  $D$  – матрица прямой связи.

Под искажениями сигналов будем понимать отклонения внутренних  $\Delta x$  и  $\Delta y$  сигналов от их номинальных значений за счет действия аддитивных помех:  $\xi(\cdot)$  – возмущений, действующих на ОУ,  $\theta(\cdot)$  – шума измерений (датчики, АЦП и т.д.)

Функционирование линейного объекта диагностирования при наличии сигнальных дефектов описывается уравнениями

$$\mathbf{x}(t) = A\mathbf{x}(t) + B\mathbf{u}(t) + \mathbf{x}(t) ; \mathbf{y}(t) = C\mathbf{x}(t) + D\mathbf{u}(t) + \mathbf{q}(t) \quad (2)$$

Вычитая из уравнения (2) уравнение (1) и обозначая  $\Delta x = x^* - x$ ;  $\Delta y = y^* - y$ , получим уравнение ошибок

$$\Delta \mathbf{x} = A\Delta \mathbf{x} + \mathbf{x} ; D\Delta \mathbf{x} = \mathbf{q} \quad (3)$$

ФД динамических объектов в пространстве сигналов более точно соответствует содержательной цели проверки правильности функционирования ОУ. В первую очередь это касается тех случаев, когда основное назначение динамического объекта – преобразовывать входные сигналы в выходные. Идея использования инвариантов при ФД динамических систем приводит к упрощению идентификационных алгоритмов, позволяет редуцировать объем обрабатываемой информации и сократить затраты на реализацию процедуры диагностирования.

Идентификация на основе алгебраических инвариантов. Проблема проверки правильности функционирования динамических ОУ в рабочем режиме на основе алгебраических инвариантов представляет значительный практический и теоретический интерес в развитии методов сигнатурного мониторинга для микропроцессорных СУ [6 - 11].

Множество дефектов в таких системах приводит к ошибкам, которые на информационном уровне можно разделить на три класса:

- 1) ошибки данных (МК изменяет данные в процессе обработки, записи, считывания и передачи);
- 2) ошибки кода операций, что приводит к выполнению другой команды;
- 3) ошибки программного перехода.

Использование кодов, обнаруживающих и корректирующих ошибки, при построении модулей запоминающих устройств и при передаче данных от

одного функционального модуля к другому позволяет в большинстве случаев обнаружить и исправить ошибки первого класса. Для обнаружения ошибок второго и третьего класса в современных микроконтроллерах используют специальные диагностические процессоры (ДП), проверяющие контрольные суммы микрокоманд или время выполнения линейных участков управляющих программ [6 - 8].

Обобщенная структурная схема ДП представлена на рис. 2.

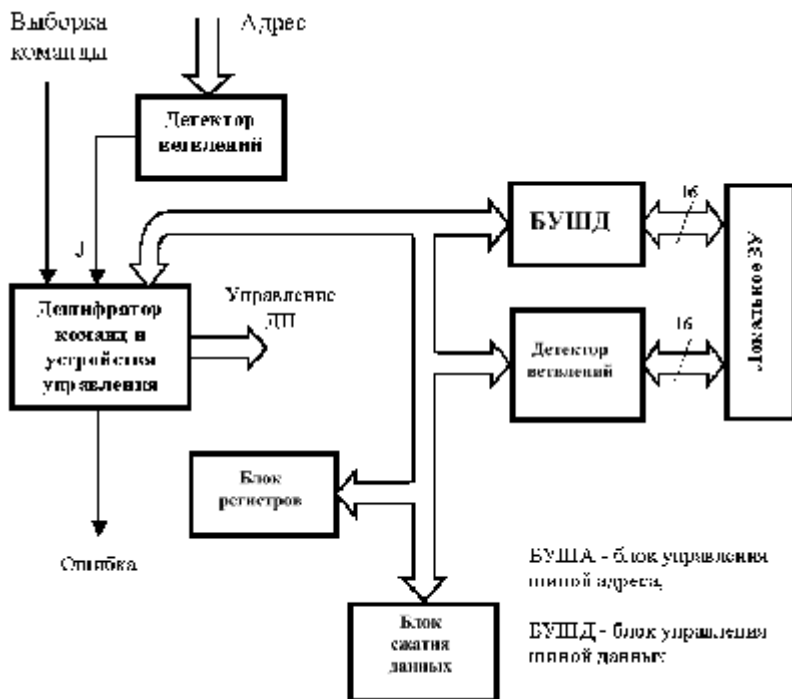


Рис. 2. Структурная схема ДП

Для любой заданной программы  $P$  основного процессора ДП выполняет программу  $P'$ , являющуюся отображением основной программы, параллельно с основным процессором.

Контроль функционирования основного процессора выполняется путем наблюдения за числом выполненных им команд в каждом линейном сегменте обнаружения и проверки правильности возможных ветвлений после выполнения линейного сегмента. В такой структуре ДП реализуется один из наиболее эффективных методов решения проблемы сигнатурного мониторинга –

время-адресный метод диагностирования. Актуальной проблемой при создании отказоустойчивых и надежных СУ является разработка унифицированных программно-аппаратных средств, позволяющих сократить сложность и стоимость /ДП, повысить их обнаруживающую способность.

**Список литературы:** 1. *Гринев Б.В., Сенчишин В.Г.* Пластмассовые сцинтилляторы. – Харьков: АКТА, 2003. – 324 с. 2. *Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ениколопан Н.С.* Кинетика полимеризационных процессов. – М.: Химия, 1978. – 320 с. 3. *Сенчишин В.Г.* Современные технологии получения пластмассовых сцинтилляторов // резание и инструмент в технологических системах. ХГПУ-2000. – Харьков: Изд-во ХГПУ. – Т. 57. – С. 205-216. 4. *Сенчишин В.Г., Ададуров А.Ф., Воронкина Н.И., Лебедев В.Н.* Пластмассовые сцинтилляторы // Сцинтилляционные материалы. Получение, свойства, применение. Сборник статей. – Харьков: Институт монокристаллов, 2007. – 416 с. 5. *Журавлев Ю.П., Котелюк Л.А., Циклинский Н.И.* Надежность и контроль ЭВМ. – М.: Сов. Радио, 1978. – 416 с. 6. *Дербунович Л.В. и др.* Программируемые контроллеры повышенной надежности для управления автоматическими линиями. – Обзор. – М.: 1984. – 52 с. 7. *Дербунович Л.В., Суздаль В.С., Тавровский И.И., Темников И.Н.* Отказоустойчивые микроконтроллеры на основе сигнатурного мониторинга // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – 4,5(37). – С. 71-73. 8. *Бережная М.А., Дербунович Л.В., Суздаль В.С., Тавровский И.И., Темников И.Н.* Отказоустойчивые системы управления на основе микроконтроллеров // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Вестник Национального Технического Университета. Сб. тр. Вып. 12. – Харьков: ХНТУ, 2002. – Т. 1. – С.218-220. 9. *Robach C., Sancier G.* Dynamic Testing of Control Units // IEEE Trans. On Comput. – 1978. – Vol. 27, №7. – P. 617-623. 10. *Brahme D., Abraham J.A.* Functional Testing of Microprocessors // IEEE Trans. On Comput. – 1984. – Vol. 33, №6. – P. 465-485. 11. *Гуляев В.А.* Техническая диагностика управляющих систем. – К.: Наукова думка, 1983. – 208 с. 12. *Мироновский Л.А.* Функциональное диагностирование линейных динамических систем // Автоматика и телемеханика. – М., 1979. - №11. – С. 120-128. 13. *Luenberger D.G.* Observers for multivariable systems // IEEE Trans. Automat. Control, AC-11. – 1966. - №2. – P. 190-197. 14. *Moore J., Ledwich G.* Minimal order observers for estimating linear functions of a state vector // IEEE Trans. Automat. Control., AC-20. – 1975. - №5/ - P. 623-632.

*Поступила в редколлегию 13.11. 2008 г.*